

博士論文の要旨及び審査結果の要旨		
氏名	NAHAR Lutfun	
学位	博士 (学術)	
学位記番号	新大院博 (学) 第 225 号	
学位授与の日付	令和 4 年 9 月 20 日	
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当	
博士論文名	Morpho-physiological and molecular mechanism for tolerances to individual or combined heat and salt stresses of rice (イネにおける熱および塩の単独または複合ストレス耐性の形態生理および分子機構)	
論文審査委員	主査	教授・三ツ井 敏明
	副査	教授・伊藤 紀美子
	副査	教授・大竹 憲邦
	副査	教授・原田 直樹
	副査	助教・Asiloglu Muhammet Rasit
<p>博士論文の要旨</p> <p>イネ (<i>Oryza sativa</i> L.) は、世界人口の半分を占める重要な主食である。地震・津波による土壌塩分の増加や海面上昇により、今世紀末には世界の稲作地の 20%以上が塩分を含むようになることが推定されている。イネは塩分に敏感な穀物の 1 つであり、特に苗の時期が最も重要である。現代の栽培イネでは、塩分濃度が <math>3 \text{ dS m}^{-1}</math> (<math>30 \text{ mM NaCl}</math>) を超えると収量が明らかに減少し、<math>70 \text{ mM NaCl}</math> では塩に敏感な遺伝子型の生存が危ぶまれる。予想される気候変動には、世界的な平均気温の上昇が含まれる。表面気温の上昇は今世紀末にはおそらく <math>+1.5^\circ\text{C}</math> 程度になると思われるが、栽培イネのほとんどは、現在、生育に最適な温度 (<math>28/22^\circ\text{C}</math>) を超える地域で栽培されている。平均気温がさらに上昇したり、温度に敏感な時期に高温になることがあれば、イネの収量が激減する可能性が出てくる。世界的に見ても、イネの成長と生産性に最も有害な生態的ストレス要因は、過度の塩分と高温の 2 つである。これまで、植物のストレス応答に関する研究の多くは、単一のストレス条件に焦点を当てたものであった。しかし、圃場ではこれらのストレスが共存していることが多く、その結果、作物の生産量が大きく損なわれている。したがって、作物の収量を上げるためには、様々な複合的ストレスに対する植物の応答機構を明らかにすることが必要である。</p> <p>本研究では、塩ストレス (SS, <math>75 \text{ mM NaCl}</math>)、熱ストレス (HT, 昼 <math>30^\circ\text{C}</math>/夜 <math>26^\circ\text{C}</math>) および複合ストレス (SS+HT) がイネの苗期、栄養成長期および生殖期に及ぼす影響について検討し、複合ストレスがイネの収量性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。塩感受性エリート品種ゆきん子舞 (WT)、耐塩性遺伝子 <i>hst1</i> を導入した塩耐性ゆきん子舞 (YNU) および <i>hst1</i> を持たない姉妹系統 (YNU-SLs) を用いて各種評価を実施した。</p> <p>苗期で、形態生理学的、生化学的反応、および転写を評価し、遺伝子型のストレス耐性を判定した。その結果、それぞれの単独ストレスに対する植物の応答からは推論できない、ストレス複合下で見られる <math>\text{Na}^+</math> および <math>\text{K}^+</math> の取り込みと輸送、水分制限、浸透圧保護物質の蓄積、転写産物の発現と活性酸素消去酵素の蓄積等の重要性が示唆された。形態生理学的、生化学的、分子生物学的評価の結果、SS+HT に供した YNU は、ストレス下および回復時に、乾物量、相対水分量および光合成色素濃度の維持、酸化ストレスの指標となるマロンジアルデヒドおよび <math>\text{Na}^+</math> レベルの減少、抗酸化系 (浸透圧保護物質; プロリンおよび酵素:</p>		

CAT, SOD, APX) の高発現が確認された。イオン輸送体遺伝子 *OsSOSs*, *OsHKT* および熱ショックタンパク質遺伝子 *OsHSP18* は、熱および塩ストレス下で YNU を保護するために重要な役割を果たすことが明らかとなった。

イネの栄養成長・生殖期において、単独の塩ストレス、熱ストレスおよび SS+HT 複合ストレスは、短期間またはそれぞれの期間において、異なる応答を示した。一般に、塩ストレスに続いて生殖期の短期間あるいは全期間にわたって熱ストレスを与えた場合、YNU はゆきん子舞や YNU-SLs よりも  $\text{Na}^+$  が低く、 $\text{K}^+$  が高く、そして  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  比が低いことが示され、活性酸素消去酵素が高蓄積されることが示唆された。栄養成長期から生殖期にかけての長期間の塩ストレスは、ゆきん子舞および YNU よりも YNU-SLs に大きな影響を与え、形態生理、光合成速度および色素が熱処理のみを除いて有意に減少した。生殖期までの塩ストレスに対する耐性は、YNU がゆきん子舞および YNU-SLs よりも強かった。SS+HT 複合ストレスでは、3つの遺伝子型が単独ストレスよりも大きな影響を受けたが、YNU 遺伝子型は他よりも比較的高い耐性を示した。

#### 審査結果の要旨

本学位論文では、耐塩性遺伝子 *hst1* を導入したエリート品種ゆきん子舞 (YNU) および *hst1* 脱落姉妹系統 (YNU-SLs) を用いて各種ストレス応答が解析された。苗期に熱・塩複合ストレスに晒された YNU では、抗酸化系遺伝子およびイオン輸送体遺伝子 *OsSOSs*, *OsHKT* ならびに熱ショックタンパク質遺伝子 *OsHSP18* の高発現が見られ、これらが熱および塩ストレス下で YNU を保護するために重要な役割を果たすことが明らかとなった。栄養成長・生殖期においても、YNU はゆきん子舞 WT や YNU-SLs に比べて熱・塩複合ストレスに耐性を示した。熱・塩複合ストレス下、YNU はゆきん子舞や YNU-SLs よりも  $\text{Na}^+$  が低く、 $\text{K}^+$  が高く、そして  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  比が低いことが示され、活性酸素消去酵素が蓄積されることが示された。自然界では、温度と塩分の変動は植物の能力を制限する環境要因であり、圃場では、これらは同時にあるいは独立して発生しうる。本論文は、このようなストレスに晒されたイネの応答に関して新たな知見をもたらすものである。

本論文の主な内容は、申請者を筆頭著者として以下の論文に掲載済みである。

- (1) Lutfun Nahar, Murat Aycan, Shigeru Hanamata, Marouane Baslam and Toshiaki Mitsui  
Impact of Single and Combined Salinity and High-Temperature Stresses on Agro-Physiological, Biochemical, and Transcriptional Responses in Rice and Stress-Release  
12 February 2022, Published in *Plants* 2022, 11, 501. <https://doi.org/10.3390/plants11040501>

よって、本論文は博士（学術）の博士論文として十分であると認定した。